

**ASIGNACIÓN DE RUTAS PARA OPTIMIZAR LA RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS RECICLABLES EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
PEREIRA**

JHON MICHAEL LONDOÑO QUIROGA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PEREIRA – RISARALDA

2020

**ASIGNACIÓN DE RUTAS PARA OPTIMIZAR LA RECOLECCIÓN DE
RESIDUOS RECICLABLES EN LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE
PEREIRA**

JHON MICHAEL LONDOÑO QUIROGA

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Industrial

Directora:

Magister Natalia Bohorquez Bedoya

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PEREIRA – RISARALDA

2020

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por haber estado en esta lucha conmigo, evitando que desista en los momentos más difíciles, gracias a la fortaleza de mi padre, el amor de mi madre y el acompañamiento de mi hermano el cuál ve en mí un ejemplo de superación, de que todo se puede lograr.

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por el acompañamiento en mi proceso académico y a cada uno de los profesores que dejaron en mí sus mejores enseñanzas, generando una persona íntegra, con valores, ética y moral.

También, a la Mágister Natalia Bohórquez, que en contra pronóstico, realizó un excelente acompañamiento para que este momento llegara, y se pudiera concluir en tiempos difíciles y muy limitados.

Contenido	
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo general.....	5
2.2. Objetivos específicos	5
1. MARCO DE REFERENCIA	6
1.1. Marco teórico	6
1.1.1. Clasificación de los desechos sólidos	6
1.1.2. Modelos de optimización	10
1.2. Marco conceptual.....	11
1.3. Marco geográfico	12
1.4. Marco temporal.....	13
1.5. Marco espacial	13
1.6. Marco legal	14
2. DIAGNÓSTICO DE LAS RUTAS DESARROLLADAS POR LOS MONITORES A CARGO QUE EXISTEN ACTUALMENTE EN EL PROYECTO “UTP RECICLA”	15
2.1. Georreferenciación de la ruta.....	16
2.2. Porcentaje de ocupación de acopios dentro de las dependencias por ruta.	17
2.2.1. Porcentaje de ocupación ruta superior.....	17
2.2.2. Porcentaje de ocupación ruta inferior	19
2.2.3. Análisis de ocupación.....	20
3. DISEÑO DE MACRORUTEO Y MICRORUTEO DE LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES.....	22
3.1. Macro ruta.....	22
3.2. Diseño de micro rutas.	26
3.2.1. Ruta inferior de recolección	27
3.2.2. Ruta superior de recolección	28
3.3. Tiempo total de recorrido y recolección por ruta.	28
3.3.1. Tiempo total de recolección para la ruta inferior.	29
3.3.2. Tiempo total de recolección para la ruta superior.	30
3.4. Recomendaciones y sugerencias generales.....	31
3.5. Conclusiones.....	31

4. ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS PARA LA RUTA ÓPTIMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES	33
4.1. Beneficios económicos	33
5. ANEXOS Y OTROS.....	34
Tablas.....	34
Figuras	34
Anexos.	35
6. BIBLIOGRAFÍA.....	36

RESUMEN

“UTP Recicla” es un proyecto del Centro de Gestión Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira que tiene como propósito convertir el reciclaje en un hábito de vida en la comunidad universitaria, promoviendo la práctica cotidiana de las cuatro erres (4R): Reducir, Reutilizar, Recuperar y Reciclar. Existen dos componentes dentro del programa: el operativo y el educativo. Cada semana el grupo de monitores recorre el campus de la Universidad recolectando el material recuperable, que es llevado al centro de acopio temporal para su separación y clasificación. Actualmente el proyecto se está acoplando a una nueva serie de reglamentos expedidos para el manejo de material reciclable en las universidades.

Al pasar el tiempo se han visto reflejadas algunas falencias en la recolección de residuos sólidos recuperables como la no recolección en la totalidad de dependencias registradas por jornada, que estaría generando molestias en estas y además posibles costos adicionales para la contratación de colaboradores, por ende, se planteó la reasignación y sectorización de las rutas de recolección con el fin de reducir costos de contratación.

Para el diseño de las rutas se hizo uso de la información suministrada por el semillero de investigación GEIO, a fin de obtener un esquema de recolección general que permitiera maximizar la cantidad de residuos recogidos con utilización óptima de los recursos, minimizando las quejas recibidas por parte de las dependencias.

El desarrollo de la investigación se realizó con el apoyo de la Coordinadora del grupo GEIO.

Palabras clave: Centro de Gestión Ambiental UTP, residuos reciclables, monitor, ruta de recolección, ruta óptima, diagnóstico, fórmula matemática.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de residuos sólidos, se puede evidenciar que es una problemática a la cual el hombre ha buscado soluciones desde un comienzo, debido a que todas sus actividades generan desechos. “La gestión inadecuada de los desechos está produciendo la contaminación de los océanos del mundo, obstruyendo los drenajes y causando inundaciones, transmitiendo enfermedades, aumentando las afecciones respiratorias por causa de la quema, perjudicando a los animales que consumen desperdicios, y afectando el desarrollo económico, por ejemplo, al perjudicar el turismo”, (Wahba,2018).

En una época de rápida urbanización y de crecimiento de la población, la gestión de los desechos sólidos es crucial para que las ciudades y las comunidades sean sostenibles, sanas e inclusivas. Si no se toman medidas, el mundo se encaminará peligrosamente al aumento de los desechos y una contaminación extraordinaria. Se pagaría un precio aún más alto que el actual en términos de vidas, medios de subsistencia y el medio ambiente.

A partir del crecimiento de la conciencia ambiental, la Universidad Tecnológica de Pereira empieza a abordar esta problemática, por esta razón crea el Centro de Gestión Ambiental y con él estrategias para la gestión de residuos. Dentro de estas estrategias de gestión se encuentra el proyecto “UTP Recicla” el cual tiene como objetivo principal la recuperación de residuos reciclables y el cual ha operado durante 12 años.

Actualmente este proyecto ha evidenciado la necesidad de mejoras relacionadas con el no cumplimiento de las rutas de recolección.

Por lo tanto, bajo conversaciones con personal interno del proyecto “UTP Recicla”, se logra realizar un diagnóstico superficial del problema, logrando evidenciar el no cumplimiento de las rutas actuales de recolección, lo cual causa molestia e insatisfacción por parte de las dependencias; ya que, deben almacenar este material durante más tiempo. Como solución a esto las directivas del proyecto plantean el aumento en la contratación de monitores, sin embargo, primero se desea realizar un estudio, para determinar si con los colaboradores actuales, se puede hacer la recolección completa del material.

En la actual asignación de rutas realizada por “UTP Recicla”, se contaban con unas dependencias que ya no existen o no realizan la recolección de residuos, además, debido a la expansión de la universidad, se han ido agregando nuevas dependencias, por lo tanto la ruta es más larga, generando desequilibrio en la carga de trabajo para los grupos asignados, adicionalmente, no se encuentra estandarizado el proceso, lo que genera que cada colaborador haga su recorrido de manera subjetiva, aunque este no sea el más adecuado.

A partir de esto, se genera un compromiso ambiental, además, el hecho de pertenecer a la Universidad Tecnológica de Pereira, Paula Andrea Lara estudiante de Ingeniería Industrial es la principal impulsora en la elección del tema, el cual trata acerca de la optimización en las rutas de recolección de residuos sólidos reciclables el cual está a cargo del proyecto “UTP Recicla”; ya que se evidencia el no cumplimiento de la recolección programada por jornada.

Previo a la realización de las rutas, es necesario realizar un diagnóstico de la situación actual de la recolección, es decir las rutas, horarios y porcentaje de ocupación del recipiente de acopio por dependencia.

El presente documento presenta el diagnóstico del estado actual de la recolección de residuos reciclables en la Universidad Tecnológica de Pereira, el porcentaje de ocupación de los recipientes de acopio por dependencia e información que permite el diseño de la ruta óptima de recolección.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer rutas internas de recolección de residuos reciclables por medio de una formulación matemática que permita disminuir los tiempos y costos en el proyecto “UTP Recicla”

2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar las rutas desarrolladas por los monitores a cargo que existen actualmente en el proyecto “UTP Recicla”.
- Elaborar el macro ruteo y micro ruteo de recolección de residuos reciclables basado en las rutas existentes en la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Estimación de los beneficios económicos para la ruta óptima de recolección de residuos reciclables en la Universidad Tecnológica de Pereira.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Clasificación de los desechos sólidos

La clasificación de los desechos sólidos no es uniforme en todos los organismos y países. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) clasifica los desechos según su fermentabilidad en desechos orgánicos e inorgánicos; según su inflamabilidad en combustibles y no combustibles; según su procedencia en domésticos, de jardinería, de barrido, etc. y según su volumen en convencionales y especiales.

Una clasificación más detallada de los desechos sólidos se recoge en el cuadro 1, en el que se incluyen los generados por hospitales, plantas de tratamiento y de incineración, así como, los agrícolas y pecuarios.

Tabla 1. *Clasificación de los desechos sólidos.*

TIPOS	CLASES	EJEMPLOS
Domésticos y comerciales	Orgánicos	Restos de comida, papel de todo tipo, cartón, plásticos de todos los tipos, textiles, goma, cuero, madera y desechos de jardín
	Inorgánicos	Vidrios, cerámica, latas, aluminio, metales ferrosos, suciedad. Artículos voluminosos: muebles, lámparas, bibliotecas, archivadores.

	Especiales	<p>Línea blanca: cocinas, hornos, neveras, lavadoras y secadores</p> <p>Pilas y baterías provenientes de artículos domésticos y vehículos.</p> <p>Aceites y cauchos generados por los automóviles</p>
Institucionales	Igual que los domésticos y comerciales	Se generan en instituciones gubernamentales, escuelas, hospitales y cárceles
Construcción y demolición	<p>Construcción</p> <p>Demolición</p>	<p>Ladrillos, hormigón, piedras, suciedad, maderas, grava, piezas de fontanería, calefacción y electricidad.</p> <p>Similar a los desechos de construcción, pero pueden incluir vidrios rotos, plásticos y acero de reforzamiento.</p>
Servicios municipales	Difusos	<p>Limpieza de calles, playas, cuencas, parques y otras zonas de recreo, paisajismo.</p> <p>Vehículos abandonados y animales muertos.</p>
Plantas	<p>Plantas de tratamiento</p> <p>Plantas de incineración</p>	Fangos provenientes del tratamiento de aguas residuales.

		Ceniza, vidrio, cerámica, metales, madera.
Industriales		Desechos de plantas de procesos industriales, chatarra, desechos especiales y peligrosos.
Agrícolas y pecuarios		Desechos de cultivos y estiércol generado por la ganadería de lecho y engorde.

Fuente: Adaptación de Tchobanoglous (1994).

Para poder tener una vista diferente, se realizó una consulta acerca del manejo de residuos sólidos NO peligrosos, se encontró que, en la Universidad Nacional de Colombia, comparte en todas sus sedes un mismo “PROCEDIMIENTO DE GESTIÓN DE RESIDUOS NO PELIGROSOS”, en el cual expresa las siguientes condiciones generales:

1. “Todo el personal que manipule los residuos sólidos generados, en las fases de recolección, ruta interna, recuperación, aprovechamiento y/o tratamiento debe utilizar en forma permanente los elementos de protección personal, que la oficina de salud ocupacional indique necesarios para su manipulación, estas directrices se encuentran en el procedimiento Programa de administración de elementos de protección de personal y dotación de seguridad código. U-Pr-008-005-03
2. La separación en la fuente se realizará según el siguiente código de colores:
Recipiente Gris: Papel y Cartón, Recipiente Azul Plástico, Vidrio, Metal, Tetrapak. Recipiente Verde residuos ordinarios e inertes, Recipiente Crema Residuos Biodegradables.

3. Todos los recipientes de recolección deben permanecer en óptimas condiciones de higiene y en buen estado, para esto deben ser lavados y desinfectados con frecuencia, dicha frecuencia será definida por cada sede según sus particularidades, no debe sobrepasar los 15 días.
4. Se debe ejercer seguimiento y control permanente a la generación, acopio temporal, tratamiento, aprovechamiento y recolección de los residuos sólidos, para lo cual es necesario realizar el pesaje de los residuos, llevar un registro y analizar los datos estadísticamente.
5. Todo residuo no peligroso que haya entrado en contacto con residuos peligrosos debe ser manejado como residuos peligrosos.
6. La caracterización de los residuos no peligrosos y el plan de acción se realizará y se actualizará en la medida de las necesidades de cada sede.” (Comité Técnico Nacional de Gestión Ambiental, 2013)

Para el desarrollo de este proyecto es necesario tener un claro conocimiento de los conceptos fundamentales a tratar a lo largo del proyecto.

El problema de ruteo de grupos de recolección abarca la temática de logística del transporte la cual se ha venido desarrollando desde hace muchos años, tomando como fundamento varias variantes o enfoques del problema, diferentes autores han descrito y solucionado los casos desde diferentes puntos de vista a partir del Travelling Salesman Problem-TSP (Problema del agente viajero).

1.1.2. Modelos de optimización

Un modelo es la abstracción de un problema real; al cual se le aplicarán ciertas consideraciones matemáticas, permitiendo obtener resultados óptimos.

En la investigación de operaciones se plantean una serie de modelos de optimización, los cuales sirven de apoyo a los gerentes y profesionales para la toma de decisiones, permitiéndoles pautas importantes en la búsqueda de soluciones a los diferentes problemas administrativos y en la generación de valor para la empresa. Por tal motivo, conocer este enfoque de aprendizaje a partir de la construcción de un modelo, permite a los ejecutivos y gerentes abordar los aspectos más importantes de cualquier situación para la toma de decisiones.

Por ende, se puede inferir que se encuentran modelos de optimización en cada uno de los sectores económicos y para actividades de la vida cotidiana, por lo tanto, estos pueden ser aplicados tanto en el sector público como privado.

Los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar en dos categorías:

- Modelos determinísticos
- Modelos probabilísticos

En los modelos determinísticos, las buenas decisiones se basan en sus buenos resultados. Se consigue lo deseado de manera “determinística”, es decir, libre de riesgo. Esto depende de la influencia que puedan tener los factores no controlables, en la determinación de los resultados de decisión y también en la cantidad de información que el tomador de decisión tiene para controlar dichos factores. (Ackoff, 1979).

De forma general se puede decir que los métodos determinísticos son los más recomendables para el diseño de micro rutas, ya que en ellos se pueden involucrar los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Además, con este tipo de métodos si se obtienen rutas optimas de recolección de residuos sólidos.

Ahora bien, dos de los más importantes métodos determinísticos son los siguientes algoritmos:

- Algoritmo de Little para resolver el problema del agente viajero.
- Algoritmo del cartero chino.

El algoritmo de Little se debe utilizar cuando el método de recolección de residuos sólidos es exclusivamente de esquina o parada fija; mientras que, con el algoritmo del cartero chino, se diseñaran rutas de recolección de residuos sólido dentro de las dependencias. (Cox-Little-O'shea, 1996)

1.2. Marco conceptual

Centro de Gestión Ambiental UTP: Dependencia de la Universidad Tecnológica de Pereira que lidera la Gestión Ambiental Institucional. Contribuye al desarrollo de un Campus Sustentable y una comunidad universitaria sensible y responsable ambientalmente.

Residuos reciclables: Son aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre éstos se encuentran: papel, plástico, chatarra, telas y radiografías.

Monitor: Nombre que reciben los estudiantes vinculados académicamente con la universidad tecnológica de Pereira y que trabajan con cualquiera de las dependencias de la universidad a cambio de una remuneración.

Ruta de recolección: Camino guía que los monitores deben recorrer para la recolección de residuos reciclables en la universidad.

Ruta Optima: Camino guía para los monitores sumamente bueno, que no puede ser mejor para la recolección de residuos reciclables.

Diagnóstico: Panorama actual y general del proyecto UTP recicla en la universidad.

Fórmula matemática: Es una expresión que relaciona constantes o variables por medio de caracteres y arrojará un resultado que se interpretará para crear la ruta optima.

1.3. Marco geográfico

La Universidad Tecnológica de Pereira se encuentra ubicada en la Ciudad de Pereira Capital del Departamento de Risaralda, es la Ciudad más poblada del Eje cafetero junto con los Municipios de Dosquebradas y la Virginia, está ubicada en la Región centro-occidente del país, en el valle del Río Otún en la Cordillera Central de los Andes colombianos. La Universidad Tecnológica de Pereira se encuentra ubicada en la vereda “la Julita” al Suroriente de la Ciudad de Pereira, la Figura 1 ilustra el mapa geográfico de dicha ubicación (Ver Figura 1).

1.6. Marco legal

El instituto colombiano de normas técnicas y certificación, ICONTEC, ha expedido normas de carácter técnico relacionadas con los residuos sólidos.

- GTC 24: Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente. Tercera actualización.
- GTC 53-2 Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos plásticos.
- GTC 53-3 Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el aprovechamiento de los envases de vidrio.
- GTC 53-4 Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el reciclaje de papel y cartón.
- GTC 53-5 Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para el aprovechamiento de los residuos metálicos.
- GTC 53-6 Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía del aprovechamiento de residuos de papel y cartón compuestos con otros materiales.
- GTC 53-7 Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos.

2. DIAGNÓSTICO DE LAS RUTAS DESARROLLADAS POR LOS MONITORES A CARGO QUE EXISTEN ACTUALMENTE EN EL PROYECTO “UTP RECICLA”

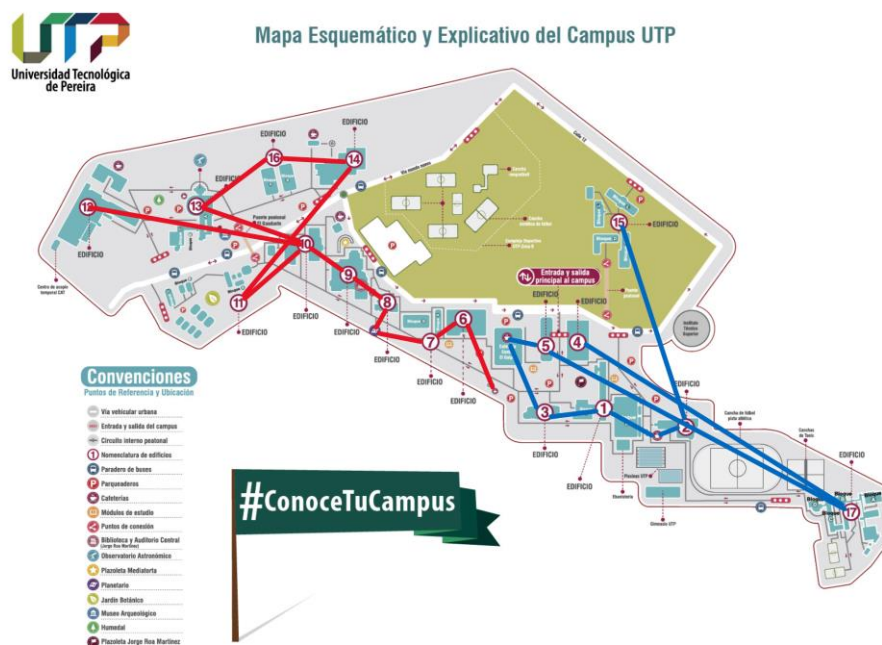
Para diagnosticar el estado actual de las rutas de recolección de residuos reciclables en el lugar de estudio, se hizo utilización de los datos suministrados por el semillero de investigación GEIO (Ver anexo 1), quienes llevaron a cabo 3 Gemba Walk (caminatas del proceso) realizando un acompañamiento al equipo de recolectores los días 30 de mayo, 6 y 13 de junio del 2019, donde se evidenciaron factores relevantes, los cuales son posibles causales de la no recolección óptima.

Factores relevantes:

- La no estandarización de las rutas.
- Las rutas no se encuentran en equilibrio de cargo.
- Las rutas no se encuentran en equilibrio de distancia recorrida.
- No estandarización de recipiente de acopio en las dependencias.
- Los costales de lona (estopas), no cuentan con un método de sellado.
- Los costales de lona no tienen un diámetro que facilite el intercambio de material.
- Material contaminado a la hora de recolección.
- Cajas de cartón sin desarmar que consumen tiempo de recolección.
- Los monitores demoran en iniciar la ruta de recolección.
- Relaciones interpersonales con administrativos.
- Uno de los edificios no fue visitado en ninguno de los 3 recorridos.

2.1. Georreferenciación de la ruta.

Figura 2. Recorrido subjetivo de los monitores.



Fuente: Construcción propia.

Para realizar el trazado de las rutas se usaron como soporte una serie de datos suministrados por el Semillero de Investigación GEIO, el cuál informaba tiempos de recorrido y orden de visita entre los edificios de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Por experiencia e información suministrada por la profesional Carolina Ramírez del Centro Gestión Ambiental, se realizó la separación de las rutas, las cuáles fueron nombradas Ruta Superior y Ruta inferior.

Durante el acompañamiento a los recorridos, se pudo observar los diferentes elementos de dotación que recibían los monitores para realizar la recolección y transporte de material

reciclable; el medio de recolección utilizado es una carreta por centro de acopio, y a su vez reciben recursos para la recolección tales como:

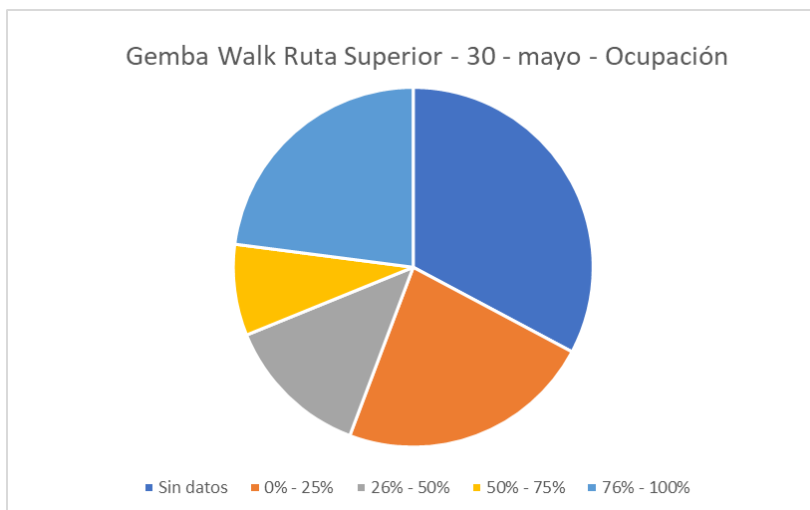
- Costales o “Estopas”.
- Bolsas.
- Chalecos de identificación.
- Guantes.
- Tapabocas.

Posterior al acompañamiento de los recorridos, se logro identificar un tiempo de transporte (recorrido) de 75 minutos, es decir, 1 hora y 15 minutos del tiempo de recolección era utilizado para el traslado entre edificios.

2.2. Porcentaje de ocupación de acopios dentro de las dependencias por ruta.

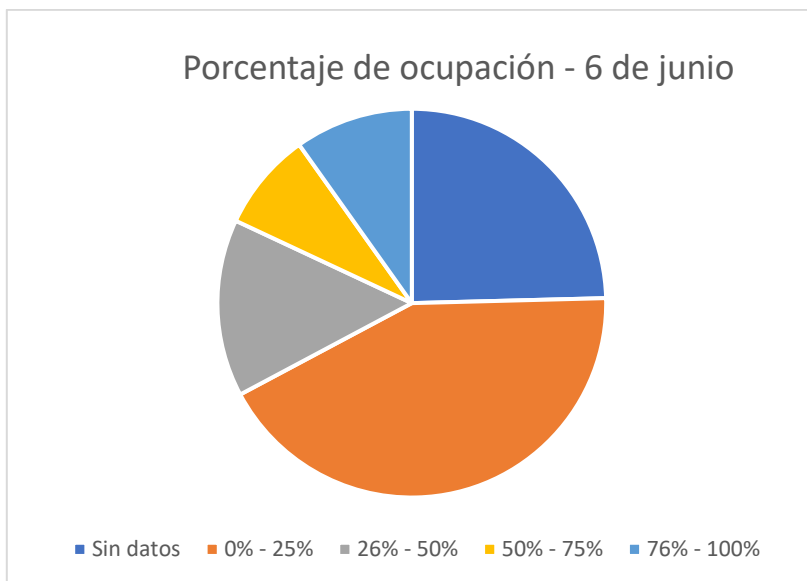
2.2.1. Porcentaje de ocupación ruta superior

Figura 3. Porcentaje de ocupación de los acopios 30 de mayo.



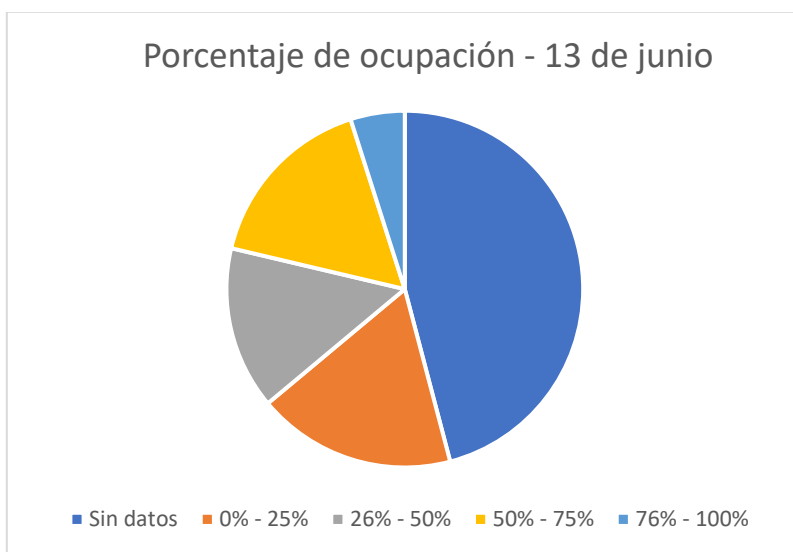
Fuente: Construcción propia.

Figura 4. Porcentaje de ocupación de los acopios 6 de junio.



Fuente: Construcción propia.

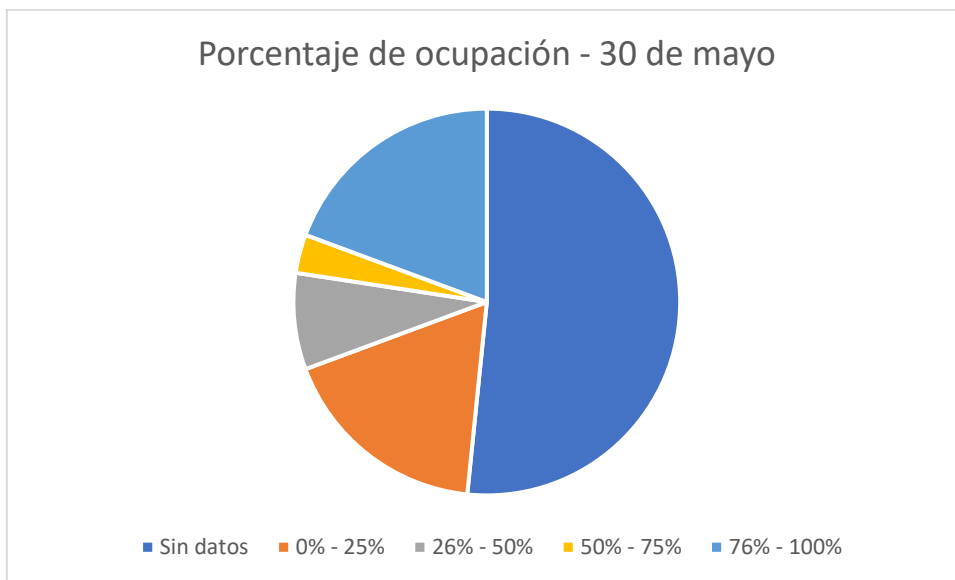
Figura 5. Porcentaje de ocupación de los acopios 13 de junio.



Fuente: Construcción propia.

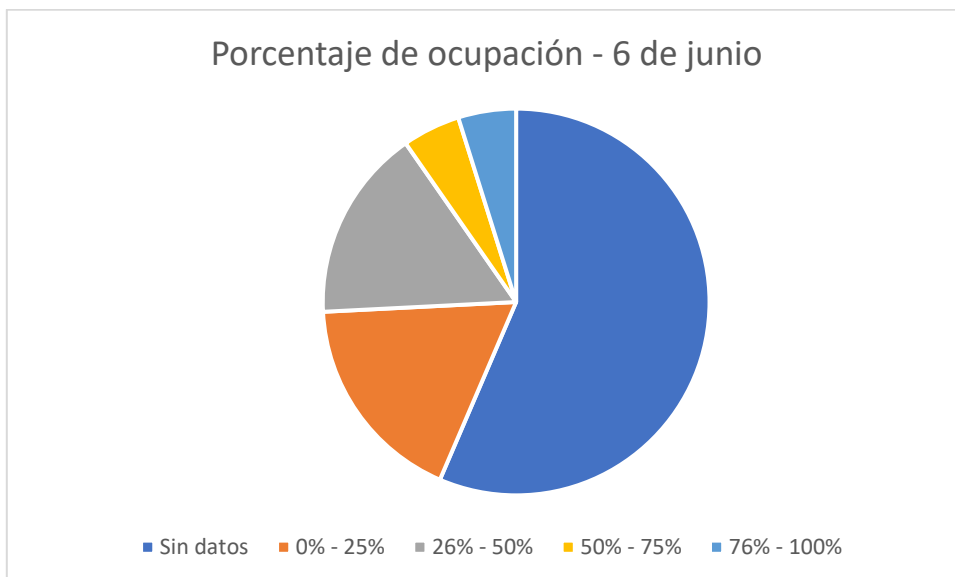
2.2.2. Porcentaje de ocupación ruta inferior

Figura 6. Porcentaje de ocupación de los acopios 30 de mayo.



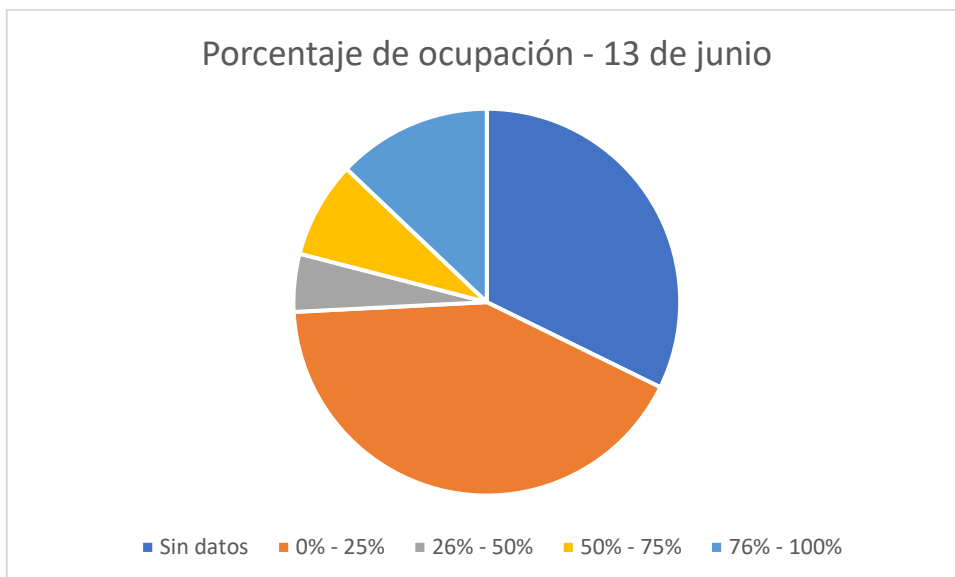
Fuente: Construcción propia.

Figura 7. Porcentaje de ocupación de los acopios 6 de junio.



Fuente: Construcción propia.

Figura 8. Porcentaje de ocupación de los acopios 13 de junio.



Fuente: Construcción propia.

2.2.3. Análisis de ocupación

Según los datos obtenidos por los tres Gemba Walk realizados por el Semillero de Investigación GEIO, se logra inferir qué al menos un 35% de las oficinas en ambas rutas de recolección tienen una ocupación semanal inferior al 50%, por lo tanto, se sugiere que las dependencias cuyo recipiente de acopio de materiales reciclables tengan una ocupación inferior al dato anteriormente nombrado, sean recolectadas cada 15 días con el fin de ganar reducir el tiempo de recolección.

En el transcurso del recorrido se identificaron cuatro (4) edificios con una mayor generación de recursos reciclables:

- Edificio 10 (Facultad de Ciencias Ambientales).
- Edificio 9 (Biblioteca Jorge Roa Martínez).

- Edificio 6 (Escuela de Química).
- Edificio 1 (Área Administrativa).

3. DISEÑO DE MACRORUTEO Y MICRORUTEO DE LA RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES.

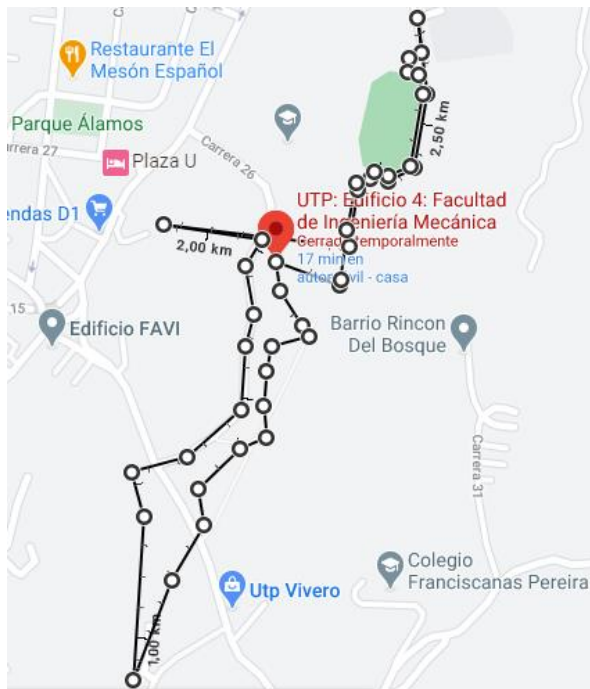
Para realizar el diseño de las rutas se tuvo en cuenta la ubicación geográfica de cada uno de los edificios de la Universidad Tecnológica de Pereira, con el fin de alimentar un modelo matemático que genera una ruta general, la cual nos indica el orden estimado de visita entre los edificios, con el fin de minimizar la distancia de desplazamiento.

3.1. Macro ruta

El modelo fue planteado de tal manera que cada uno de los edificios fueran visitados una única vez, minimizando la distancia total de la ruta. (Ver anexo 2).

Una vez se obtiene el orden de visita de los edificios, se procedió a hacer un análisis de recorrido, ya que el modelo nos daba una solución lineal. Este proceso se hizo por medio de Google Maps, donde se trazó con detenimiento la ruta obtenida de tal manera que se dieran desplazamientos completos haciendo uso de senderos y lugares aptos para transitar, obteniendo una distancia total de recorrido de 3,2km.

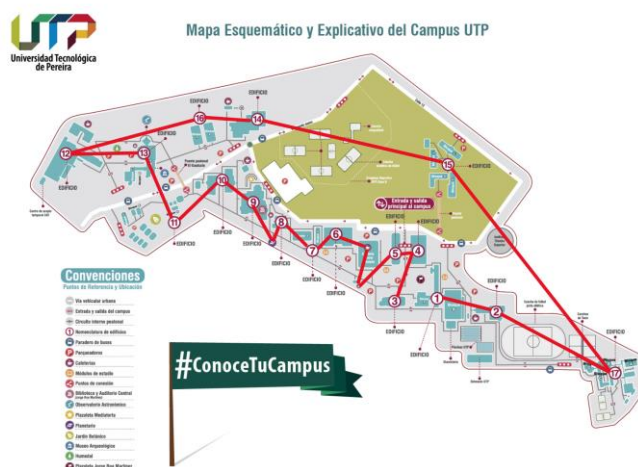
Figura 9. Ruta trazada en Google Maps.



Fuente: Google Maps.

Con el fin de facilitar el orden de visita de los edificios, se procedió a la construcción de un mapa con trazos lineales interconectándolos entre sí, donde el punto de partida es el edificio 1 (Edificio Administrativo) y cerrando las visitas en el edificio 3 (CRIE).

Figura 10. Trazo lineal



Fuente: Construcción propia

Una vez se obtuvo la ruta óptima que minimizara la distancia recorrida, se prosigue a la estimación de la velocidad promedio en base a estudios anteriormente realizados en la ciudad de Barcelona.

Tabla 2. *Velocidad de peatones según la pendiente de la rampa.*

Pendiente (%)	Velocidad (km/h)
0	4,82
2	4,82
4	4,82
6	4,61
8	4,28
10	3,74
12	3,38

Fuente: (TRRL, 1978)

La velocidad promedio utilizada para calcular el tiempo de recorrido es de 4.8km/h. Esta decisión está justificada en que la mayor parte de los desplazamientos, la pendiente es inferior al 4%, es decir que, por cada 100 metros en dirección horizontal hay un desplazamiento vertical de máximo 4 metros.

Debido a que estos datos fueron tomados a personas sin carga, se estima que los monitores realicen el recorrido con una eficiencia del 70%, esto debido a factores tales como:

- Escaleras.
- Adoquines.
- Fatiga.

- Suplir necesidades fisiológicas.

Teniendo en cuenta la eficiencia, se procede a calcular la velocidad estimada a la cual se estarían desplazando los monitores.

$$V_e = V_p * E_e \quad [1]$$

Donde:

V_e = Velocidad estimada

V_p = Velocidad promedio

E_e = Eficiencia estimada

Por lo tanto, la velocidad estimada con la cual se calculó el tiempo de recorridos fue de 3,36km/h.

$$T_e = \frac{X_e}{V_e} \quad [2]$$

T_e = Tiempo estimado

X_e = Distancia estimada

V_e = Velocidad estimada

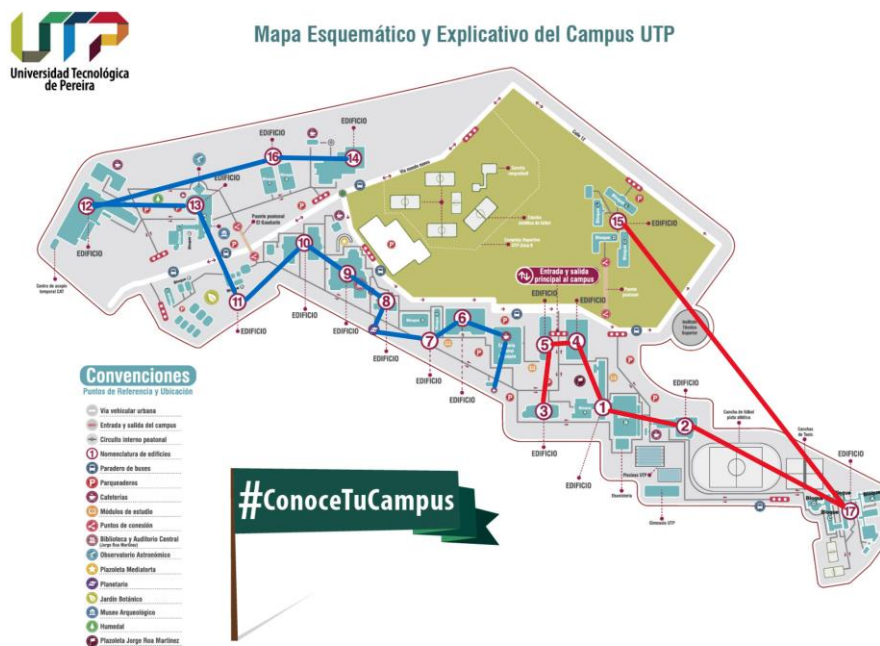
Bajo este cálculo se obtuvo un tiempo de recorrido de 57,15 minutos logrando una reducción en tiempos de desplazamiento del 23,8%.

3.2. Diseño de micro rutas.

El diseño de micro rutas se trazó evitando que el monitor tuviera que visitar los edificios más de una ocasión, para el campus se diseñaron dos rutas, identificadas como ruta superior e inferior, buscando que ambas tuvieran un tiempo operativo similar.

En Google Maps se realizó la medida del desplazamiento para cada una de ellas, donde se encontró que la ruta superior e inferior tenían que recorrer una distancia de 1,57km y 1,44km respectivamente.

Figura 11. Micro rutas generadas.



Fuente: Construcción propia.

Bajo esta representación gráfica de las rutas obtenidas, la ruta superior tendría como punto de iniciación el edificio 14 (Ciencias de la Salud) y finalizaría en Cafetería “La Barrita”, para posteriormente ser llevado al punto de acopio que se encuentra bajo el Guaducto; la ruta inferior da inicio en el edificio 15 (Centro de formación avanzada – Antiguo bloque L) y terminando por llevar el material recolectado hasta el punto de acopio en el CRIE.

Una vez se obtuvo el orden de visita, se procedió a realizar el trazado de las rutas para conocer las distancias a recorrer por cada una de ellas, teniendo en cuenta que los desplazamientos se realicen por senderos permitidos.

3.2.1. Ruta inferior de recolección

Figura 12. Desplazamiento ruta inferior por senderos.

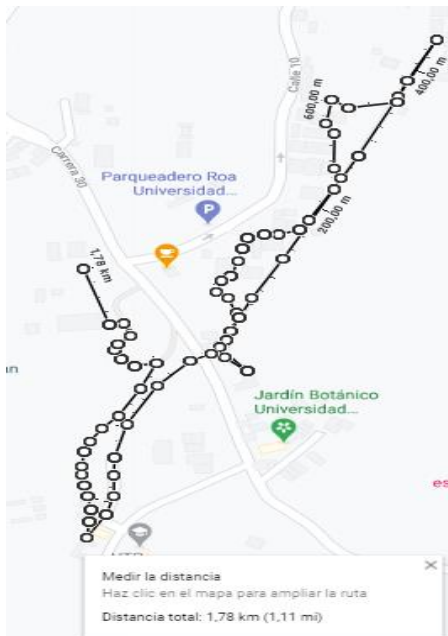


Fuente: Construcción propia.

Soportado en la ecuación [2], se estima un tiempo de recorrido de aproximadamente 26 minutos para una distancia de 1,44km, que comprende el desplazamiento total de la ruta inferior trazada.

3.2.2. Ruta superior de recolección

Figura 13. Desplazamiento ruta superior por senderos.



Fuente: Construcción propia.

En relación con la velocidad estimada y la distancia calculada de 1,78km, se hizo uso de la ecuación [2], por medio la cual estima un tiempo de recorrido de 32 minutos aproximadamente.

3.3. Tiempo total de recorrido y recolección por ruta.

Para determinar el tiempo total de recorrido y recolección de las rutas, se tomaron los datos suministrados por el Semillero de Investigación GEIO, donde se especifica el tiempo

que tardaron los monitores en realizar la recolección de los residuos en cada edificio visitado.

3.3.1. Tiempo total de recolección para la ruta inferior.

Tabla 3. *Tiempo total de recolección - ruta inferior.*

Ruta inferior de Recolección		
Actividad	Tiempo en minutos	% de ocupación del tiempo total
Transporte entre bloques	22	11%
Edificio 15	86	42%
Edificio 17	7	3%
Edificio 2	23,6	12%
Edificio 1	51,5	25%
Edificio 4	6,6	3%
Edificio 5	6,6	3%
Total	203,5	100%
Tiempo en horas	3,4	

Fuente: Construcción propia

3.3.1.1. Análisis y recomendaciones.

De acuerdo con el cuadro 3, el 67% del tiempo total se ve representado en el Edificio 1 (Administrativo) y el Edificio 15 (Centro de Formación Avanzada), sin embargo, cuándo se analiza el porcentaje de ocupación de los acopios dentro de las dependencias de dichos edificios al menos el 60% de estos se encuentran con una acumulación de material menor al 50% de su capacidad total, por lo tanto, se sugiere realizar la recolección de estas dependencias cada 15 días, logrando una reducción del tiempo de recolección.

3.3.2. Tiempo total de recolección para la ruta superior.

Tabla 4. *Tiempo total de recolección – ruta superior.*

Ruta superior de recolección		
Actividad	Tiempo en minutos	% ocupación del tiempo total
Transporte entre bloques	32	18%
Edificio 14	20,6	11%
Edificio 16	0,9	1%
Edificio 12	23,8	13%
Edificio 13	10,7	6%
Edificio 11	6,3	3%
Edificio 10	15,9	9%
Edificio 9	11,2	6%
Edificio 8	8,5	5%
Planetario	1,9	1%
Edificio 7	5,5	3%
Edificio 6	4,9	3%
Cafetería "La Barrita"	6,7	4%
Edificio 3	32,6	18%
Total	181,5	100%
Tiempo en horas	3,0	

Fuente: Construcción propia.

3.3.2.1. Análisis y recomendaciones.

A pesar de tener tiempos de recolección similares, se encuentra una cantidad considerable de dependencias que no llegan a un porcentaje de ocupación del recipiente de

acopio superior al 50%, por lo tanto, se sugiere que las oficinas cuyo recipiente tenga un porcentaje de ocupación inferior a este, sean recolectadas cada 15 días, con el fin de agilizar el proceso de recolección.

3.4. Recomendaciones y sugerencias generales.

Posterior a la creación de las rutas según balance de cargas y distancias recorridas, se sugiere la corrección de los factores relevantes identificados en el acompañamiento realizado por el Semillero de Investigación GEIO.

Tabla 5. Factores relevantes con su posible solución.

N.	Factor Relevante	Solución
1.	No estandarización de recipiente de acopio en las dependencias.	Estandarizar el recipiente de acopio, de tal manera que todas tengan una sola medida.
2.	Los costales de lona (estopas), no cuentan con un método de sellado.	Realizar modificación a las estopas, con el fin que cuenten con sistema de sellado, para facilitar la acomodación en el medio de transporte.
3.	Los costales de lona no tienen un diámetro que facilite el intercambio de material.	Estandarizar las estopas de tal manera que el material pueda ser transferido con facilidad.
4.	Material contaminado a la hora de recolección.	Realizar un proceso pedagógico sobre la adecuada separación de los residuos.
5.	Cajas de cartón sin desarmar que consumen tiempo de recolección.	Proceso pedagógico sobre como se deben almacenar las cajas de cartón.
6.	Los monitores demoran en iniciar la ruta de recolección.	Motivar a los monitores a tener puntualidad al inicio de la jornada de recolección.
7.	Relaciones interpersonales con administrativos.	Realizar un proceso de conciliación entre las partes, para mejorar el ambiente social.

Fuente: Construcción propia.

3.5. Conclusiones.

En conclusión, se encontró una mejor ruta de recolección que cumple con los requisitos propuestos, entre estos nos encontramos con una limitación de tiempo de 4 horas de recolección por ruta, donde se estaría dando uso a aproximadamente un 75% del tiempo

total suministrado, a su vez, se brindaron una serie de soluciones a ciertos factores que generan largos tiempos de recolección.

Con una reducción estimada de tiempos de recorrido del 23,8% se puede afirmar que la ruta fue mejorada y se estaría reduciendo la cantidad de quejas recibidas por parte de las dependencias.

4. ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS PARA LA RUTA ÓPTIMA DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES

4.1. Beneficios económicos

Con el presente proyecto se diagnosticó el estado actual de la recolección de residuos reciclables en la Universidad Tecnológica de Pereira, se diseñaron rutas que pudieran optimizar la prestación del servicio de tal manera que se redujeran los costos. A partir de este, se logra hacer la ruta total de recolección con dos grupos de monitores con dos integrantes y una disponibilidad de recolección de 4 horas, que en comparación con las rutas realizadas por el Semillero de Investigación GEIO en el año 2019, se estaría utilizando un 66,6% de los recursos que se estarían destinando para el pago de los monitores.

Para la mitigación de factores relevantes, se estaría realizando una inversión de más o menos \$300.000 para estandarización de recipientes de acopio y sistema de sellado de las “estopas”.

En conclusión, la ruta encontrada es de mejor calidad ya que puede ser completada con los dos grupos de recolección y las cuatro horas hábiles con las que cuenta cada uno, por lo tanto, se estaría aceptando y puede ser llevada a prueba.

5. ANEXOS Y OTROS.

Tablas

Tabla 1. Clasificación de los desechos sólidos.

Tabla 2. Velocidad de peatones según la pendiente de la rampa.

Tabla 3. Tiempo total de recolección - ruta inferior.

Tabla 4. Tiempo total de recolección – ruta superior.

Tabla 5. Factores relevantes con su posible solución.

Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Figura 2. Recorrido subjetivo de los monitores.

Figura 3. Porcentaje de ocupación de los acopios 30 de mayo.

Figura 4. Porcentaje de ocupación de los acopios 6 de junio.

Figura 5. Porcentaje de ocupación de los acopios 13 de junio.

Figura 6. Porcentaje de ocupación de los acopios 30 de mayo.

Figura 7. Porcentaje de ocupación de los acopios 6 de junio.

Figura 8. Porcentaje de ocupación de los acopios 13 de junio.

Figura 9. Ruta trazada en Google Maps.

Figura 10. Trazo lineal.

Figura 11. Micro rutas generadas.

Figura 12. Desplazamiento ruta inferior por senderos.

Figura 13. Desplazamiento ruta superior por senderos.

Anexos.

Anexo 1. Informe UTP-Recicla.

Anexo 2. Modelo ruta de recolección UTP.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Ackoff, Sasiani. (1979). Fundamentos de investigación de operaciones. México: Limusa, México.
- Comité Técnico Nacional de Gestión Ambiental. (2013). “PROCEDIMIENTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS NO PELIGROSOS” Disponible en:
http://oga.bogota.unal.edu.co/cultura_ambiental/residuos-no-peligrosos/
- Cox-Little-O’Shea, (1996), Ideals, Varieties and Algorithms. UTM Springer
- Echarri, L. (2008). “Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente.” En:
<http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologiaHipertexto/13Residu/100Resid.htm>, 2008.
- Flores, C. B. (2009). La problemática de los desechos sólidos The solid waste problem. *Economía*, 27, 121–144. Recuperado de:
<http://www.redalyc.org/pdf/1956/195614958006.pdf>
- Henry, G. y Heinke, W. (1999). Ingeniería Ambiental. México, D.F.: Prentice Hall, 1999.
- Parès, J. Criteris de Planificació i dimensionament de la xarxa d’itineraris per a vianants en zona urbana, Tesina de Especialidad, tutor Ole Thorson, ETSECCPBUPC, 1994.
- Tchobanoglous G., Theisen H. y Vigil S. (1994). Gestión Integral de Desechos Sólidos. 1 y 2. Madrid: Editorial McGraw Hill.
- Wahba, Sameh. (2018). Gestión de Riesgos de Desastres, y Resiliencia del Banco Mundial.